

-1-

DaimlerChrysler AG

Selbstzündende Brennkraftmaschine

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, insbesondere einer Dieselbrennkraftmaschine, und eine Einspritzvorrichtung nach Anspruch 15.

Beim Betrieb von Brennkraftmaschinen mit Direkteinspritzung wird versucht, einen Einfluss auf die Verbrennung und auf die Emissionsbildung durch Variation des Einspritzverlaufs zu nehmen. Bei direkteinspritzenden Brennkraftmaschinen mit Selbstzündung werden zur Gestaltung einer lastabhängigen Kraftstoffeinspritzung Einspritzventile eingesetzt, bei denen die Gestaltung des Einspritzverlaufs durch einen entsprechenden Aufbau sowie ein gezieltes Öffnen des Einspritzventils gesteuert wird. Hierdurch soll weiterhin die Funktionsweise einer nachgeschalteten Abgasnachbehandlung verbessert und optimiert werden. Beispielsweise kann eine gezielte Einspritzverlaufsformung zur Bereitstellung eines unterstöchiometrischen Abgases für die Desulphatisierung von NOx-Speicherkatalysatoren sowie zur On-Board-Erzeugung von NH<sub>3</sub> dienen.

Aus einer nicht vorveröffentlichten Patentanmeldung mit dem amtlichen Aktenzeichen DE10159479.8-13 ist ein Verfahren bekannt, bei dem Kraftstoff als eine Haupteinspritzung und eine Nacheinspritzung in einen Brennraum eingebracht wird, wobei beide Einspritzungen getaktet vorgenommen werden können. Hierbei soll der zeitliche Ablauf der Verbrennung

BEST AVAILABLE COPY

-2-

beeinflusst werden, so dass ein zeitlicher Ablauf des Drehmomentverlaufs bzw. ein Druckverlauf im Zylinder der Brennkraftmaschine verändert werden, um die Abgaszusammensetzung sowie eine Abgastemperatur zu beeinflussen.

Aus der DE 19953932 A1 ist ein Verfahren bekannt, bei dem eine kombinierte homogen/heterogene Betriebsweise eines Verbrennungsmotors für die Erzielung mittlerer und höherer Leistungen vorgeschlagen wird. Dabei sollen mit einer Einspritzstrategie sowohl eine frühe homogene Gemischbildung im Kompressionshub als auch eine darauffolgende heterogene Gemischbildung um den oberen Totpunkt ermöglicht werden, wobei die Kraftstoffeinspritzung bei der homogenen Gemischbildung mit einem geringeren Einspritzdruck als bei der heterogenen Gemischbildung erfolgt, um ein Auftragen von Kraftstoff auf die kalten Brennraumwände zu vermeiden. Es hat sich dennoch gezeigt, dass trotz der oben vorgeschlagenen Maßnahmen weiterhin erhöhte Abgasemissionen auftreten. Es müssen daher weitere Maßnahmen getroffen werden, mit denen die Abgasemissionen minimiert werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren für eine Brennkraftmaschine mit Selbstzündung zu schaffen, mit dem die Abgasemissionen reduziert werden. Dies wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Weiterhin ist es Ziel der Erfindung, eine Vorrichtung bereitzustellen, mit der eine selbstzündende Brennkraftmaschine hinsichtlich des Abgasverhaltens und des Verbrauchs verbessert wird. Dieses Ziel wird

-3-

erfindungsgemäß durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 15 erreicht.

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wird Kraftstoff mittels einer eine Düsenadel aufweisenden Einspritzdüse mit Einspritzbohrungen in Form mehrerer Kraftstoffstrahlen direkt in einen Brennraum einer Brennkraftmaschine eingespritzt, wobei zu einem späteren Zeitpunkt nach der Haupteinspritzung eine Kraftstoffmenge als eine getaktete Nacheinspritzung eingespritzt wird, wobei die Nacheinspritzung in Teilmengen derart getaktet eingespritzt wird, dass die Kraftstoffteilmengen der Nacheinspritzung unterschiedlich groß gebildet werden. Hierdurch kann eine gezielte Anpassung der Kraftstoffteilmenge an die Kolbenstellung im Zylinder und/oder einen Betriebspunkt der Brennkraftmaschine erreicht werden, so dass sich die jeweilige Teilmenge rechtzeitig vor Erreichen der Zylinderwand mit der Brennraumluft vermischt, so dass eine Benetzung der Zylinderwand mit Kraftstoff weitgehend vermieden wird.

Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung werden während der getakteten Nacheinspritzung ein Hub der Düsenadel der Einspritzdüse und/oder ein Kraftstoffeinspritzdruck derart eingestellt, dass bei jeder in den Brennraum eingespritzten Teilmenge der Nacheinspritzung eine Reichweite des jeweiligen Kraftstoffstrahls im Brennraum derart begrenzt wird, dass die Reichweite kleiner als eine Entfernung bis zu einer Brennraumbegrenzung ist. Dadurch wird eine Kraftstoffwandlagerung im Zylinder, die z.B. bei kleinerem Gasdruck und niedrigerer Temperatur im Zylinder stetig steigt, minimiert. Erfindungsgemäß wird ein verstärktes Aufbrechen und Verdampfen des Einspritzstrahls

-4-

erzielt. Die getaktet vorgesehene Nacheinspritzung führt erfindungsgemäß zu einer Verkürzung der flüssigen Strahllänge. Dies ist die Länge bzw. Eindringtiefe eines aus flüssigem Kraftstoff gebildeten Einspritzstrahls. Somit wird ein Auftragen von Kraftstoff auf die kalten Brennraumwände vermieden, da dieser Kraftstoffanteil größtenteils mit der Restluft und dem Restgas im Zylinder reagiert und somit nicht wie bei erhöhtem Kraftstoffeintrag in das Motoröl gelangt.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird eine erste Kraftstoffteilmenge der Nacheinspritzung größer als eine nachfolgende Kraftstoffmenge der Nacheinspritzung bemessen. Hierdurch wird einer örtlich starken Anfettung des im Brennraum gebildeten Gemisches insbesondere während der getakteten Nacheinspritzung entgegengewirkt, so dass eine Rußpartikelbildung insbesondere während der Nacheinspritzung minimiert bzw. verhindert wird. Es ist zweckmäßig, die einzelnen Einspritzmengen während der Nacheinspritzung derart zu gestalten, dass jeweils eine bestimmte Kraftstoffmenge in den Brennraum gelangt, die eine intensive und vollständige Vermischung mit der Brennraumluft erfährt, bevor der Kraftstoffstrahl die Brennraumbegrenzung bzw. eine Zylinderwand erreicht hat.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird die Nacheinspritzung mit einem niedrigeren Einspritzdruck als dem der Haupteinspritzung in den Brennraum eingespritzt. Somit kann ein weiterer Kraftstoffwandauftrag vermieden werden, da sich ein Brennraumgegendruck während der Nacheinspritzung mit veränderter Kolbenstellung abnehmend verändert. Der Druck des eingespritzten Kraftstoffs kann weiterhin während der getakteten Nacheinspritzung,

vorzugsweise in Abhängigkeit von der Kolbenstellung variiert bzw. kontinuierlich angepasst oder auf ein niedrigeres Niveau als während der Haupteinspritzung gesenkt werden, um dem abfallenden Brennraumdruck während eines Expansionshubs der Brennkraftmaschine entgegenzuwirken. Dadurch kann beispielsweise die Eindringtiefe der Kraftstoffteilmengen in Form von Einspritzstrahlen im Brennraum während der getakteten Nacheinspritzung konstant gehalten werden.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird ein Hub der Düsennadel der Einspritzdüse derart eingestellt, dass eine instabile, kaviterende Strömung in den Einspritzbohrungen der Einspritzdüse erzeugt wird. Hiermit sollen die Kraftstofftropfen innerhalb des eingespritzten Strahls kurz nach dem Austritt aus der Einspritzdüse zerfallen und rechtzeitig zerstäubt werden. Somit wird ein Auftreffen des Kraftstoffs z.B. auf die als Brennraumbegrenzung dienende Zylinderwand weitgehend minimiert.

Gemäß der vorliegenden Erfindung findet die Taktung der Nacheinspritzung derart statt, dass die Reichweite des Kraftstoffstrahls bei jeder eingespritzten Teilmenge im Brennraum begrenzt wird. Dadurch wird die Reichweite in etwa kleiner als eine Entfernung bis zu einer Zylinderwand weitgehend begrenzt, indem ein Zerfall der eingespritzten Kraftstoffstrahlen im Brennraum verstärkt wird. Die einzelnen Einspritztakte werden während der Nacheinspritzung derart gestaltet, dass jeweils die Strahlimpulse der Einzeleinspritzungen angepasst werden, und bei der jeweiligen Brennraumgasdichte die Reichweite der Kraftstoffstrahlen in etwa die Strecke bis zu der

-6-

brennraumseitigen Zylinderwand oder dem Kolbenboden beträgt. Eine Steuerung eines Einspritzstrahlimpulses und einer Einspritz-Teilmenge wird vorzugsweise durch die Pulsdauer bzw. die Taktung in Kombination mit gezielter Einspritz-Düsennadelgestaltung vorgenommen, so dass die Kraftstoffstrahlen durch eine verstärkte Zerstäubung kurz nach dem Austritt aus der Einspritzdüse zerfallen. Eine Rußpartikelbildung und ein signifikanter Kraftstoffauftrag auf die Zylinderwand werden weitgehend vermieden bzw. minimiert.

Weitere Kriterien für die Gestaltung einer zusätzlichen Nacheinspritzung können sich aus den Anforderungen einer etwaigen Abgasnachbehandlungsmaßnahme ergeben.

Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine nach innen öffnende Düsennadel mit mehreren Einspritzbohrungen vorgeschlagen, bei der der Kraftstoff durch die Einspritzbohrungen in Form von Kraftstoffstrahlen in den Brennraum eingespritzt wird, so dass zwischen den eingespritzten Kraftstoffstrahlen ein Spritzlochkegelwinkel von  $80^\circ$  bis  $140^\circ$  oder von  $80^\circ$  bis  $160^\circ$  einstellbar ist.

Gemäß einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist der Hub der Düsennadel in einer Öffnungsrichtung verstellbar, so dass während der getakteten Nacheinspritzung der Hub der Düsennadel variabel eingestellt werden kann. Die Einstellung des Hubes kann wahlweise lastabhängig erfolgen. Dadurch wird eine während der getakteten Nacheinspritzung erfolgte Einspritzteilmenge variiert. Des Weiteren kann mit der Verstellung des Hubes eine instabile kaviterende Strömung in den Einspritzbohrungen der Einspritzdüse gebildet werden.

Weitere Vorteile ergeben sich aus der folgenden Zeichnungsbeschreibung. In der Zeichnung sind Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt. Die Beschreibung und die Ansprüche enthalten zahlreiche Merkmale in Kombination. Der Fachmann wird die Merkmale zweckmäßigerweise auch einzeln betrachten und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammenfassen. Es zeigen:

Fig. 1 einen schematischen Querschnitt durch eine Brennkraftmaschine mit Selbstzündung,

Fig. 2 ein Diagramm zum Verlauf einer Kraftstoffeinspritzung mit 5-fach getakteter Voreinspritzung, einer Haupteinspritzung und mit 5-fach getakteter Nacheinspritzung,

Fig. 3 ein Diagramm zum Verlauf einer Kraftstoffeinspritzung mit 5-fach getakteter Voreinspritzung mit gleichbleibender Taktdauer bei konstantem Nadelhub und steigendem Einspritzdruck während der Voreinspritzung, sowie einer Haupteinspritzung und einer 5-fachen Nacheinspritzung mit abfallendem Einspritzdruck mit gleichbleibender Taktdauer bei konstantem Nadelhub,

Fig. 4 ein Diagramm zum Verlauf einer Kraftstoffeinspritzung mit 4-fach getakteter Voreinspritzung mit ansteigender Taktdauer bei konstantem Einspritzdruck, sowie einer Haupteinspritzung und einer 4-fachen

-8-

Nacheinspritzung bei einem konstantem  
Einspritzdruck mit abnehmender Taktdauer,

Fig. 5 ein Diagramm zum einen Verlauf einer  
Kraftstoffeinspritzung mit einer Block-  
Voreinspritzung bei konstantem Einspritzdruck,  
sowie einer Haupteinspritzung und einer Block-  
Nacheinspritzung bei konstantem Einspritzdruck  
und

Fig. 6 eine schematische Darstellung der Wirkung einer  
instabilen kavitiierenden Strömung im Düsenloch  
einer Mehrlochdüse.

Fig. 1 zeigt eine Brennkraftmaschine 1, bei der eine  
Kurbelwelle 2 durch einen in einem Zylinder 9 geführten  
Kolben 5 über eine Pleuelstange 4 angetrieben wird.  
Zwischen dem Kolben 5 und einem Zylinderkopf 10 wird im  
Zylinder 9 ein Brennraum 8 gebildet, der eine in den  
Kolbenboden 7 eingelassene Kolbenmulde 6 umfasst.

Bei der Drehung einer Kurbel 3 der Kurbelwelle 2 auf einem  
Kurbelkreis 11 im Uhrzeigersinn verkleinert sich der  
Brennraum 8, wobei die in ihm eingeschlossene Luft  
verdichtet wird. Der Ladungswechsel im Brennraum 8 erfolgt  
über nicht dargestellte Gaswechselventile und Gaskanäle im  
Zylinderkopf 10.

Mit dem Erreichen eines oberen Totpunktes 12 der Kurbel 3,  
nachfolgend mit OT bezeichnet, ist das Ende der Verdichtung  
erreicht. Die aktuelle Lage des Kolbens 5 zum Zylinderkopf  
10 wird durch den Kurbelwinkel  $\phi$  in Bezug auf den oberen  
Totpunkt 12 bestimmt.

Eine Einspritzdüse 13 mit mehreren Einspritzbohrungen ist im Zylinderkopf 10 zentral angeordnet. Die Einspritzbohrungen sind jeweils um einen Winkel von 40° bis 80° zur Düsenachse geneigt. Der Spritzlochkegelwinkel beträgt ca. 80° bis 160°. Es kann sich prinzipiell um eine konventionelle und damit kostengünstige Lochdüse vom Typ Sitzloch, Mini-Sackloch oder Sackloch handeln. Die Einspritzdüse 13 wird über eine Signalleitung 15 und einen Aktuator 14, beispielsweise einen Piezo-Aktuator, von einer elektronischen Steuereinheit 16, der Motorsteuerung, angesteuert. Die aus der Einspritzdüse austretenden Einspritzstrahlen sind mit 17 bezeichnet.

Der Kraftstoff wird von einer Einspritzpumpe 18 in mehreren Druckstufen zur Verfügung gestellt, wobei ein Steuerventil 20, zweckmäßigerweise ein elektronisch ansteuerbares Magnetventil, den jeweiligen maximalen Druck in der Kraftstoffleitung 19 begrenzt. Bevorzugt wird mittels eines geeigneten Einspritzsystems der Einspritzdruck angepasst. Dabei kann ein nadelhubgesteuertes Einspritzsystem mit einer entsprechenden Druckmodulation verwendet werden.

Erfnungsgemäß weist die Einspritzdüse 13 vier bis vierzehn Einspritzbohrungen auf, welche vorzugsweise in einer oder zwei Lochreihen über dem Umfang verteilt angeordnet sind. Der Betrieb der Brennkraftmaschine 1 kann durch den optionalen Einsatz einer Einspritzdüse mit zwei unterschiedlich ansteuerbaren Lochreihen, z.B. durch eine innenöffnende Koaxial-Variodüse, optimiert werden. Vorzugsweise kann eine der beiden Lochreihen unter einem Spritzlochkegelwinkel  $\alpha$ , vorzugsweise zwischen 130° und 160°, zur Darstellung eines konventionellen Magerbetriebs

-10-

angesteuert werden, wobei dann die zweite Lochreihe, mit einem wesentlich kleineren Spritzlochkegelwinkel, vorzugsweise zwischen  $80^\circ$  und  $140^\circ$ , insbesondere zur Gestaltung einer Fettverbrennung mit einer Nacheinspritzung und gegebenenfalls für eine Voreinspritzung eingesetzt wird. Durch die Ansteuerung der Lochreihe mit dem kleineren Spritzlochkegelwinkel  $\alpha$ , z.B.  $80^\circ$  anstelle  $150^\circ$ , wird eine freie Strahllänge bei einer späten Nacheinspritzung, beispielsweise bei  $70^\circ\text{KW}$  bis  $90^\circ\text{KW}$  nach OT verlängert. Somit trifft der Kraftstoffstrahl 17 nicht auf die Zylinderwand sondern wird in Richtung der Kolbenmulde 6 bzw. auf den Kolbenboden 7 gerichtet.

Die Einspritzdüse 13 weist eine in Fig. 6 dargestellte Düsenadel 13a auf, die mit einem nicht dargestellten Steuerelement verbunden ist. Durch die Ansteuerung der Düsenadel 13a durch das Steuerelement wird sie bewegt, um die Einspritzdüse 13 zu öffnen bzw. zu schließen. Dabei wird ein bestimmter Betriebshub  $h$  während einer Betriebsstellung betriebspunktabhängig und/oder in Abhängigkeit von dem Kurbelwinkel  $\varphi$  eingestellt. Ein Kraftstoffdurchfluss kann dann in Abhängigkeit vom Betriebshub  $h$  und einer Öffnungszeit bzw. einer Taktdauer sowie vom eingestellten Kraftstoffeinspritzdruck bestimmt bzw. verändert werden.

Das vorliegende Verfahren eignet sich insbesondere für ein kombiniertes homogen/heterogenes Brennverfahren mit Selbstzündung, so dass eine konventionelle Magerverbrennung, bekannt aus Dieselmotoren, sowie eine Fettverbrennung zur Optimierung einer nachgeschalteten Abgasnachbehandlungsanlage, die insbesondere für

-11-

magerbetriebene Brennkraftmaschinen ausgelegt ist, durchgeführt werden kann.

Die Brennkraftmaschine 1 weist weiterhin eine nicht dargestellte Abgasreinigungsanlage mit z.B. mehreren Katalysatoreinheiten auf. Die selbstzündende Brennkraftmaschine 1 wird üblicherweise weitgehend in einem Magerbetrieb und bei Bedarf zur Optimierung der nachgeschalteten Abgasreinigungsanlage in einem Fettbetrieb gefahren. Als Magerbetrieb wird ein überstöchiometrischer Motorbetrieb bezeichnet, bei dem in der Verbrennung ein Sauerstoffüberschuss, d.h.  $\lambda > 1$ , herrscht. Unter Fettbetrieb wird ein unterstöchiometrischer Motorbetrieb verstanden, bei dem in der Verbrennung ein Kraftstoffüberschuss, d.h.  $\lambda < 1$ , herrscht. Dementsprechend bezeichnet eine magere Abgaszusammensetzung einen Sauerstoffüberschuss im Abgas und eine fette Abgaszusammensetzung einen Sauerstoffmangel im Abgas.

Bei fetter Abgaszusammensetzung kann mittels einer ersten Katalysatoreinheit Ammoniak aus entsprechenden Abgasbestandteilen erzeugt werden. Eine zweite Katalysatoreinheit, die bei fetter Abgaszusammensetzung von der ersten Katalysatoreinheit erzeugten Ammoniak adsorbiert, setzt bei magerer Abgaszusammensetzung den Ammoniak wieder frei, der dann als Reduktionsmittel für eine Reduktionsreaktion dient, mit der im Abgas enthaltene Stickoxide unter gleichzeitiger Oxidation des Ammoniaks in Stickstoff umgewandelt werden. Sobald im Magerbetrieb die zwischengespeicherte Ammoniakmenge erschöpft ist, wird auf Fettbetrieb umgeschaltet. Für die NOx-Regeneration und die Desulphatisierung von NOx-Speicherkatalysatoren sowie für

-12-

die On-Board-Erzeugung von NH<sub>3</sub> zur Regeneration eines SCR-Katalysators ist es erforderlich, am Motor ein unterstöchiometrisches Abgas zu erzeugen und den Katalysatoren, z.B. dem NO<sub>x</sub>-Speicherkat und/oder dem SCR-Katalysator zur Verfügung zu stellen.

Im Betrieb der Brennkraftmaschine 1 werden Maßnahmen zur Vermeidung der Anlagerung von flüssigem Kraftstoff in Verbindung mit einer nach einer Haupteinspritzung HE vorgesehenen Nacheinspritzung NE oder mit einer vor der Haupteinspritzung HE vorgesehenen Voreinspritzung VE getroffen, so dass ein frühes Vermischen mit der im Brennraum befindlichen Verbrennungsluft stattfindet. Diese Maßnahmen können einzeln oder miteinander kombiniert vorgenommen werden, so dass jede denkbare Kombination dieser Maßnahmen bei Bedarf gewählt werden kann.

Sowohl im Magerbetrieb als auch im Fettbetrieb der Brennkraftmaschine 1 kann die einzubringende Kraftstoffmenge durch eine betriebspunktabhängige Aufteilung als eine Vor- Haupt- und Nacheinspritzmenge in den Brennraum eingebracht werden. Die vorliegende Erfindung dient in erster Linie zur Optimierung der unterschiedlichen Kraftstoffmengen und deren betriebspunktabhängigen Anpassung, so dass eine Brennraumwandanlagerung mit Kraftstoff vermieden wird.

Bei der vorliegenden Brennkraftmaschine wird die Erzeugung eines unterstöchiometrischen Abgases durch die Nacheinspritzung erzielt, so dass die spät eingebrachte Kraftstoffmenge zumindest teilweise nicht an der Verbrennung teilnimmt. Es bieten sich grundsätzlich mehrere Maßnahmen an, um unterstöchiometrisches Abgas zu bilden.

-13-

Dies kann beispielsweise auch durch eine luft- und abgasseitige Drosselung des Motors oder eine Erhöhung einer Abgasrückführrate sowie einer Erhöhung der Kraftstoffmenge im Zylinder oder im Abgasstrang lastneutral erzielt werden. Die kraftstoffseitige Maßnahme durch eine entsprechende Nacheinspritzung bietet gegenüber der Drosselung des Motors und der Erhöhung der Abgasrückführrate deutliche Vorteile in Bezug auf die zeitlich schnelle Realisierbarkeit des Fettbetriebs. So können die durch eine getaktet vorgenommene Nacheinspritzung gebildeten Teilmengen von Arbeitsspiel zu Arbeitsspiel mengenmäßig verändert werden. Die innermotorische Kraftstoffeinbringung bietet gegenüber der nachmotorischen Kraftstoffdosierung Vorteile insbesondere in Bezug auf die Präzision bzw. erforderliche Genauigkeit bei der Darstellung der für das Abgasnachbehandlungssystem erforderlichen Abgasbestandteile CO, H<sub>2</sub> bei einem Adsorber-Katalysator und NH<sub>3</sub> bei einem SCR-Katalysator mit einem vergleichbar geringen Kostenaufwand.

Die in Fig. 2 dargestellte Einspritzstrategie sieht eine Vor-, eine Haupt- und eine Nacheinspritzung vor. Die Voreinspritzung VE findet als eine Homogenisierungseinspritzung in einem Bereich zwischen 140°KW und 40°KW vor OT statt. Dabei findet die Voreinspritzung VE bei einem Einspritzdruck P<sub>1</sub> als eine getaktete Kraftstoffeinspritzung statt. Die Taktung erfolgt derart, dass bei jeder Taktung einen unterschiedlichen Nadelhub h eingestellt wird. Durch die gezielte Taktung der Voreinspritzung VE wird eine Homogenisierung der eingespritzten Teilmengen erreicht. Alternativ zur getakteten Voreinspritzung kann die Homogenisierung im Kompressionshub auch dadurch erzeugt werden, dass

Kavitationseffekte im Düsensacklochbereich und in den Düsenlöchern durch eine konstante Positionierung der Düsenadel 13a der Einspritzdüse 13 z.B. mittels einer direkten Ansteuerung über ein Piezostellglied erfolgen.

Die Haupteinspritzung erfolgt dann bei einem höheren Einspritzdruck  $P_2$  in einem Bereich zwischen  $10^\circ\text{KW}$  vor OT bis  $20^\circ\text{KW}$  nach OT. Bei der Haupteinspritzung HE wird ein größerer Nadelhub  $h$  als bei der Voreinspritzung VE eingestellt. Vorzugsweise wird die Haupteinspritzmenge HE in einem Abstand von  $5^\circ\text{KW}$  bis  $15^\circ\text{KW}$  zum Zündzeitpunkt der homogenen Verbrennung unter möglichst hohem Einspritzdruck  $P_2$  eingebracht. Die Lage der Haupteinspritzung HE ist durch den maximal zulässigen Spitzendruck der Brennkraftmaschine und den maximal zulässigen Druckanstieg des Motors begrenzt. Zur Vermeidung eines Drehmomentanstiegs durch die Haupteinspritzung HE, in Kombination mit der vorgeschalteten Voreinspritzung VE und der Nacheinspritzung NE wird die Haupteinspritzmenge entsprechend so reduziert, dass das Motordrehmoment insgesamt dem Moment eines reinen Magerbetriebs entspricht.

Die Einspritzung einer zusätzlichen Kraftstoffmenge in Form der Nacheinspritzung findet insbesondere während der Fettphase mittels einer 2- bis 8-fachen getakteten Einspritzung im Expansionshub während eines Intervalls von ca.  $20^\circ$  bis  $150^\circ\text{ KW}$  nach OT statt. Die einzelnen Einspritztakte für die Einspritzung werden bezüglich Dauer, Einspritzdruck, Nadelhubverlauf und Wechselwirkung mit der Zylinderinnenströmung so angepasst, dass eine bestmögliche Gemischverteilung erzielt wird, so dass kein signifikanter Kraftstoffauftrag auf die Zylinderwand erfolgt. Die Nadelöffnungsduer bei den einzelnen Takten der

-15-

Nacheinspritzung NE wird kleiner als die Nadelöffnungsduer der Haupteinspritzung HE eingestellt. Die Nadelhubeinstellung wird während der Nacheinspritzung NE unterschiedlich vorgenommen, wobei sie vorzugsweise nachfolgend kleiner eingestellt wird. Dabei wird während der Nacheinspritzung bei veränderlichem Nadelhub ein konstanter Kraftstoffeinspritzdruck eingestellt, der vorzugsweise höher als der während der Voreinspritzung VE und kleiner als der während der Haupteinspritzung HE ist. Vorzugsweise wird die Taktung während der Nacheinspritzung derart vorgenommen, dass die erste Kraftstoffteilmenge der Nacheinspritzung größer ist als die nachfolgende Kraftstoffteilmenge.

Eine zweite Einspritzstrategie ist in Fig. 3 dargestellt, in der die Brennkraftmaschine 1 in einem kombinierten Homogen/Heterogen-Betrieb mit 5-fach getakteter Voreinspritzung VE mit gleichbleibender Taktdauer und steigendem Einspritzdruck während der Voreinspritzung VE, sowie einer Haupteinspritzung HE mit einem erhöhten Einspritzdruck P2 bei einem maximal eingestellten Nadelhub h und einer 5-fachen Nacheinspritzung NE mit gleichbleibender Taktdauer und absinkendem Einspritzdruck betrieben wird. Vorzugsweise wird die Taktung während der Nacheinspritzung derart vorgenommen, dass die erste Kraftstoffteilmenge der Nacheinspritzung gleich groß bzw. größer ist als die nachfolgende Kraftstoffteilmenge.

Die getaktete Voreinspritzung VE gemäß Fig. 3 erfolgt im Kompressionshub in einem Kurbelwinkelbereich von etwa  $80^{\circ}\text{KW}$  bis etwa  $35^{\circ}\text{KW}$  vor OT. Sie erfolgt derart, dass bei jeder Taktung der Einspritzdruck zunimmt, d.h. während der Voreinspritzung VE herrscht, beispielsweise in einem

-16-

Common-Rail-Einspritzsystem, bei der früh erfolgten Einspritzteilmenge ein niedrigerer Druck als bei der darauffolgenden Einspritzteilmenge, wobei der Nadelhub  $h$  während der getakteten Voreinspritzung VE konstant bleibt. Die Haupteinspritzung findet dann bei einem höheren Einspritzdruck  $P_2$  in einem Bereich zwischen dem oberen Totpunkt und etwa  $30^\circ\text{KW}$  nach OT. Bei der Haupteinspritzung HE wird ein höherer Nadelhub  $h$  als bei der Voreinspritzung VE eingestellt, wobei eine Nadelöffnungsdauer bei der Haupteinspritzung HE größer als die Nadelöffnungsdauer der Vor- und der Nacheinspritzung HE eingestellt wird. Während der Nacheinspritzung wird der Nadelhub  $h$  auf einem konstanten und kleineren Wert als bei der Haupteinspritzung gehalten, wobei sich der Einspritzdruck verändert bzw. kontinuierlich abnimmt. Es werden während der Vor- und der Nacheinspritzung unterschiedliche Kraftstoffdruck-Änderungsraten eingestellt, da sowohl während der Vor- als auch während der Nacheinspritzung im Brennraum 8 unterschiedliche Verbrennungsreaktionen stattfinden, die ungleiche Brennraumdruck- bzw. Temperaturverläufe hervorrufen.

Eine besonders vorteilhafte Einspritzstrategie sieht der Einspritzverlauf gemäß Fig. 4 vor. Darin wird ein kombinierter Homogen/Heterogen-Betrieb mit 4-fach getakteter Voreinspritzung mit ansteigender Taktdauer bei konstantem Einspritzdruck vorgeschlagen, bei dem die Düsenadel 13a bei einer unteren Hubstellung verharrt. Weiterhin sind eine Haupteinspritzung HE bei einem erhöhten Einspritzdruck  $P_2$  und einer maximal eingestellten Nadelhub  $h$  sowie eine Nacheinspritzung NE mit abnehmender Taktdauer bei konstantem Einspritzdruck  $P_3$  vorgesehen. Vorzugsweise kann die Taktung während der Nacheinspritzung derart

-17-

vorgenommen werden, dass die erste Kraftstoffteilmenge der Nacheinspritzung größer ist als die nachfolgende Kraftstoffteilmenge.

Das vorliegende Einspritzsystem ermöglicht während einer unterteilten bzw. getakteten Einspritzung die Einstellung unterschiedlicher Hubstellungen, so dass je nach Bedarf eine unterschiedliche Einspritzteilmenge vorgenommen werden kann. Wahlweise ist es dennoch möglich, die Taktung gemäß Fig. 5 durch eine Blockeinspritzung mit definiert begrenzter Hubstellung, z.B. mit Hilfe eines Piezostellgliedes zu ersetzen. Diese bietet Vorteile gegenüber der Taktung im Hinblick auf Mengenkonstanz und Düsenverschleiß.

Bei einer rein konventionellen Magerverbrennung ohne eine Nacheinspritzung wird alternativ die Voreinspritzung VE in einem Bereich zwischen 40°KW und dem oberen Totpunkt OT vorgenommen, wobei der Beginn der Haupteinspritzung HE vorzugsweise in einem Bereich zwischen 15°KW vor OT und 15°KW nach OT stattfindet. Beide können als eine Blockeinspritzung so getätigt werden, dass ein hoher Impuls der Einspritzstrahlen erreicht wird. Um den Erfordernissen für eine effektive magere Verbrennung zu genügen, wird dabei der Einspritzdruck auf einem maximalen Niveau eingestellt.

Der Einspritzdruck  $P_1$  während der Voreinspritzung und der Einspritzdruck  $P_3$  während der Nacheinspritzung werden vorzugsweise in den o.g. Einspritzstrategien gemäß Fig. 2 bis Fig. 5 so gewählt, dass sich durch die getaktete Vor- und Nacheinspritzung der eingespritzte Kraftstoff in nicht

signifikantem Maße an der Brennraumbegrenzung des Brennraums 8 anlagert.

In Fig. 6 ist eine schematische Darstellung der Einspritzdüse 13 vom Typ Sacklochdüse angegeben, wobei sich eine Düse vom Typ Sitzlochdüse ebenso gut eignet. In der Einspritzdüse 13 gemäß Fig. 6 ist die Wirkung einer hervorgerufenen instabilen kavitiertenden Strömung in einem Düsenloch 21 der Einspritzdüse 13 bei geringem Nadelhub  $h$  der Düsennadel 13a, d. h. bei teilweise geöffneter Einspritzdüse 13, und die dadurch erzielte Wirkung auf einen Ausbreitungswinkel  $\alpha_1$  des Einspritzstrahls 17 dargestellt.

Auf der rechten Seite in Fig. 6 ist die Einspritzdüse 13 nur teilweise geöffnet, wodurch eine Drosselung im Düsennadelsitz 22 erzielt wird. Durch diese Drosselung wird im Düsenloch 21 eine turbulente bzw. eine instabile kavitiertende Strömung hervorgerufen, die zu einem großen Ausbreitungswinkel  $\alpha_1$  des Kraftstoffstrahls 17 führt. Im Vergleich zu einer voll geöffneten Einspritzdüse mit maximaler Hubstellung, wie auf der linken Seite der Fig. 6 dargestellt, ist der Ausbreitungswinkel  $\alpha_1$  durch die instabile kavitiertende Strömung größer als ein Ausbreitungswinkel  $\alpha_2$ , der ohne eine solche Strömung bewirkt wird. Die instabile kavitiertende Strömung ruft starke Fluktuationen der Düseninnenströmung 23 hervor, welche beim Kraftstoffaustritt aus dem Düsenloch 21 zu einem verstärkten Kraftstoffstrahlzerfall führen und somit zu einem großen Ausbreitungswinkel  $\alpha_1$ .

Der Kraftstoffstrahl mit dem Ausbreitungswinkel  $\alpha_1$  breitet sich im Brennraum mit einer intensiven Zerstäubung aus, und bewirkt somit eine bessere Homogenisierung sowie eine schnelle Kraftstoffverdampfung, so dass mehr Kraftstoff in einer Teilmenge der Voreinspritzung VE oder der Nacheinspritzung NE ohne eine nennenswerte Brennraumwandbenetzung eingespritzt werden kann. Dagegen wird bei der Einspritzdüse 13 mit der maximalen Hubeinstellung gemäß der linken Seite in Fig. 6 im inneren des Düsenlochs 21 auf der linken Seite eine zweiphasige Strömung 24 hervorgerufen, welche zu einem konventionellen Kraftstoffzerfall führt. Im Vergleich zu einer teilweise geöffneten Einspritzdüse ist der Ausbreitungswinkel  $\alpha_2$  kleiner als der Ausbreitungswinkel  $\alpha_1$ .

Eine gezielte Einstellung einer gewünschten Drosselwirkung im Sitz der Düsenadel kann mit einer geeigneten konstruktiven Maßnahme, z.B. durch einen 2-Federhalter an der Einspritzdüse das Verharren der Düsenadel auf einer Hubstellung, die zwischen der vollständig geschlossenen bzw. geöffneten Position liegt, unterstützt werden. Alternativ kann diese Einstellung über eine mittels Piezostellglied direkt gesteuerte Düsenadel realisiert werden.

Um einen möglichst großen Ausbreitungswinkel  $\alpha_1$  bei einer teilweise geöffneten Mehrloch-Einspritzdüse zu erzielen, sollte vorzugsweise die Ansteuerung derart erfolgen, dass der effektive Strömungsquerschnitt im Nadelsitz vorzugsweise etwa das 0,8 bis 1,2 -fache eines effektiven Strömungsquerschnittes der Summe aller Querschnitte der Einspritzbohrungen beträgt.

-20-

Es ist zweckmäßig, bei den o.g. Einspritzstrategien gemäß Fig. 2 bis Fig. 5 zusätzlich einen zuschaltbaren variablen Drall im Brennraum 8 der Brennkraftmaschine 1 zu bilden, so dass eine Gemischwolke einer Einspritzteilmenge sowohl bei der Voreinspritzung VE als auch bei der Nacheinspritzung NE durch eine angepasste Drallbewegung der Ladung im Brennraum unterstützt und gleichzeitig die Strahleindringtiefe reduziert wird. Die Strahlkeule bzw. die Gemischwolke eines Einspritztaktes wird demnach durch die Drallströmung so weit gedreht, dass bei einem nachfolgenden Einspritztakt die neu gebildeten Strahlkeulen nicht in die Gemischwolke der vorangegangenen Einspritzteilmenge eindringen. Hierdurch werden örtliche Überfettungen sowie die Strahleindringtiefen verringert, so dass insbesondere weniger Rußpartikel gebildet werden.

Erfindungsgemäß beträgt die Gesamteinspritzmenge der Voreinspritzung VE vorzugsweise, insbesondere bei den o.g. Einspritzstrategien, im unteren Teillastbereich, d.h. bis zu 70% Last, etwa 20% bis 50% der Haupteinspritzmenge und im oberen Lastbereich, d.h. von 70% Last bis zur Vollast, etwa 10% bis 30% der Haupteinspritzmenge. Sie wird dabei so gewählt, dass klopfende Verbrennung sicher vermieden wird. Dieser homogenisierte Kraftstoffanteil verbrennt dann annähernd Ruß- und NOx-frei, erzeugt jedoch bereits einen erheblichen Anteil, der für die NOx-Reduktion am NOx-Speicher-Kat erforderlichen CO-Emission und liefert einen wichtigen Anteil zur Reduzierung des Luftverhältnisses.

Es ist auch denkbar, auf die vorangeschaltete homogene Verbrennung, insbesondere bei einer Fettverbrennung, zu verzichten und den Spritzbeginn der Haupteinspritzung noch

-21-

weiter nach früh zu verlegen in einem Bereich zwischen 20°KW und 5°KW vor OT. Dabei wird während der Nacheinspritzung im Fettbetrieb der Einspritzdruck der einzelnen Kraftstoffteilmengen verändert, da die Gasdichte im Brennraum kontinuierlich abnimmt. Demnach wird der Kraftstoffeinspritzdruck dementsprechend ebenfalls stufenweise bzw. kontinuierlich reduziert. Die Gesamteinspritzmenge der Haupteinspritzung HE wird dabei so gewählt, dass in Kombination mit dem nachfolgend eingespritzten Kraftstoff der Nacheinspritzung NE das Drehmoment der konventionellen Magerverbrennung nicht über- bzw. unterschritten wird. Die Begrenzung der Frühverstellung der Haupteinspritzung HE bildet wiederum der max. zulässige Spitzendruck und die max. zulässige Druckanstieg im Zylinder. Der Anstieg bzw. Abfall des Drehmoment im Fettbetrieb über oder unter dem Wert der Magerverbrennung wird durch die Anpassung des Spritzbeginns und der Einspritzmenge der Haupteinspritzung HE verhindert.

Erfnungsgemäß werden die Einspritzzeitpunkte sowie die Mengenaufteilung der einzelnen Teilmengen in Abhängigkeit vom jeweiligen Verdichtungsverhältnis des Motors verändert. Die hier angegebenen Werte eignen sich insbesondere für ein Verdichtungsverhältnis von  $\varepsilon=16$ . Bei höheren Verdichtungsverhältnissen verschiebt sich die Ansteuerdauer für die Einspritzzeitpunkte der Homogenmenge aufgrund des früheren Zündbeginns der Homogenverbrennung bei höherer Verdichtung um den Betrag in Grad Kurbelwinkel nach früh. Analog verschiebt sich der Beginn der Einspritzung der Homogenmenge bei der Wahl eines geringeren Verdichtungsverhältnisses um den Betrag in Grad Kurbelwinkel nach spät. Das gleiche gilt auch für unterschiedlich gewählte Ansauglufttemperaturen. Maßnahmen

-22-

welche die Ansauglufttemperatur verringern, ermöglichen einen späteren Einspritzbeginn der Homogenmenge. Maßnahmen die eine Erhöhung der Ansauglufttemperatur bewirken, erfordern einer Verlagerung des Spritzbeginns der Homogenmenge nach früh.

DaimlerChrysler AG

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Brennkraftmaschine (1) mit Selbstzündung, bei dem
  - Kraftstoff mittels einer eine Düsenadel (13a) aufweisenden Einspritzdüse (13) mit Einspritzbohrungen (21) in Form mehrerer Kraftstoffstrahlen (17) in einen Brennraum (8) eingespritzt wird,
  - während eines Einspritzvorgangs ein Teil des Kraftstoffes als eine Haupteinspritzung (HE) und
  - zu einem späteren Zeitpunkt nach der Haupteinspritzung (HE) ein Kraftstoffmenge als eine getaktete Nacheinspritzung (NE) eingespritzt wird, dadurch gekennzeichnet, dass
    - die Nacheinspritzung (NE) in Teilmengen derart getaktet eingespritzt wird, dass die Kraftstoffteilmengen der Nacheinspritzung (NE) unterschiedlich groß gebildet werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass während der getakteten Nacheinspritzung (NE) ein Hub der Düsenadel (13a) der Einspritzdüse (13) und/oder ein Kraftstoffeinspritzdruck derart eingestellt werden, dass bei jeder in den Brennraum (8) eingespritzten Teilmenge der Nacheinspritzung (NE) eine Reichweite des jeweiligen Kraftstoffstrahls (17) im Brennraum derart begrenzt wird, dass die Reichweite

-24-

kleiner als eine Entfernung bis zu einer Brennraumbegrenzung ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine erste Kraftstoffteilmenge der Nacheinspritzung (NE) größer einer nachfolgenden Kraftstoffmenge der Nacheinspritzung (NE) bemessen wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Nacheinspritzung (NE) mit einem niedrigeren Einspritzdruck als dem der Haupteinspritzung (HE) in den Brennraum (8) eingespritzt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mit der Haupteinspritzung (HE) in einem Bereich von  $10^{\circ}\text{KW}$  vor dem oberen Totpunkt bis  $20^{\circ}\text{KW}$  nach dem oberen Totpunkt begonnen wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mit der Nacheinspritzung (NE) in einem Bereich von  $30^{\circ}\text{KW}$  bis  $100^{\circ}\text{KW}$  nach dem Ende der Haupteinspritzung (HE) begonnen wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Nacheinspritzung (NE) in einer zwei- bis achtfachen Taktung in einem Expansionshub in einem Bereich von  $20^{\circ}\text{KW}$  bis  $150^{\circ}\text{KW}$  nach dem oberen Totpunkt erfolgt.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil des Kraftstoffs als eine getaktete Voreinspritzung (VE) mit einem niedrigeren oder gleich großen Einspritzdruck als dem der Haupteinspritzung (HE) eingespritzt wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Voreinspritzung (VE) in einem Bereich von 140°KW bis 60°KW vor dem oberen Totpunkt eingespritzt wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Haupteinspritzung (HE) in einem Bereich von 5°KW bis 30°KW nach einem Zündzeitpunkt der Voreinspritzung (VE) in den Brennraum (8) vorgenommen wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kraftstoffmenge der Voreinspritzung (VE) in einem unteren und mittleren Lastbereich etwa 20% bis 50% der Kraftstoffmenge der Haupteinspritzung (HE) und in einem oberen Lastbereich bzw. Vollastbereich etwa 10% bis 30% der Kraftstoffmenge der Haupteinspritzung (HE) beträgt.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass während der Nacheinspritzung (NE) und/oder der Voreinspritzung (VE) mittels einer im Brennraum (8) gebildeten Drallbewegung eine während eines

-26-

Einspritztaktes erzeugte Kraftstoffwolke eines Kraftstoffstrahls (17) versetzt oder seitlich verschoben wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Hub der Düsennadel (13a) der Einspritzdüse derart eingestellt wird, dass eine instabile kaviterende Strömung in den Einspritzbohrungen (21) der Einspritzdüse (13) erzeugt wird.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Hub der Düsennadel (13a) der Einspritzdüse (13) derart variiert wird, dass innerhalb der Einspritzdüse (13) ein effektiver Strömungsquerschnitt zwischen der Düsennadel (13a) und einem Düsennadelsitz (22) etwa das 0,8 bis 1,2-fache eines effektiven Strömungsquerschnittes der Summe aller Einspritzbohrungen beträgt.
15. Einspritzdüse zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 14, welche eine nach innen öffnende Düsennadel (13a) und mehreren Einspritzbohrungen (21) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den eingespritzten Kraftstoffstrahlen (17) ein Spritzlochkegelwinkel von  $80^\circ$  bis  $140^\circ$  einstellbar ist.
16. Einspritzdüse nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass

-27-

der Hub der Düsennadel (13a) der Einspritzdüse (13) derart einstellbar ist, dass innerhalb der Einspritzdüse (13) ein effektiver Strömungsquerschnitt zwischen der Düsennadel (13) und dem Nadelsitz (22) etwa das 0,8 bis 1,2-fache eines effektiven Strömungsquerschnittes der Summe aller Einspritzbohrungen (21) beträgt.

17. Einspritzdüse nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Hub der Düsennadel (13a) mittels einer Zweifederhalterung, einer piezogesteuerten Düsennadel oder einer Koaxial-Variodüse einstellbar ist.

1/4

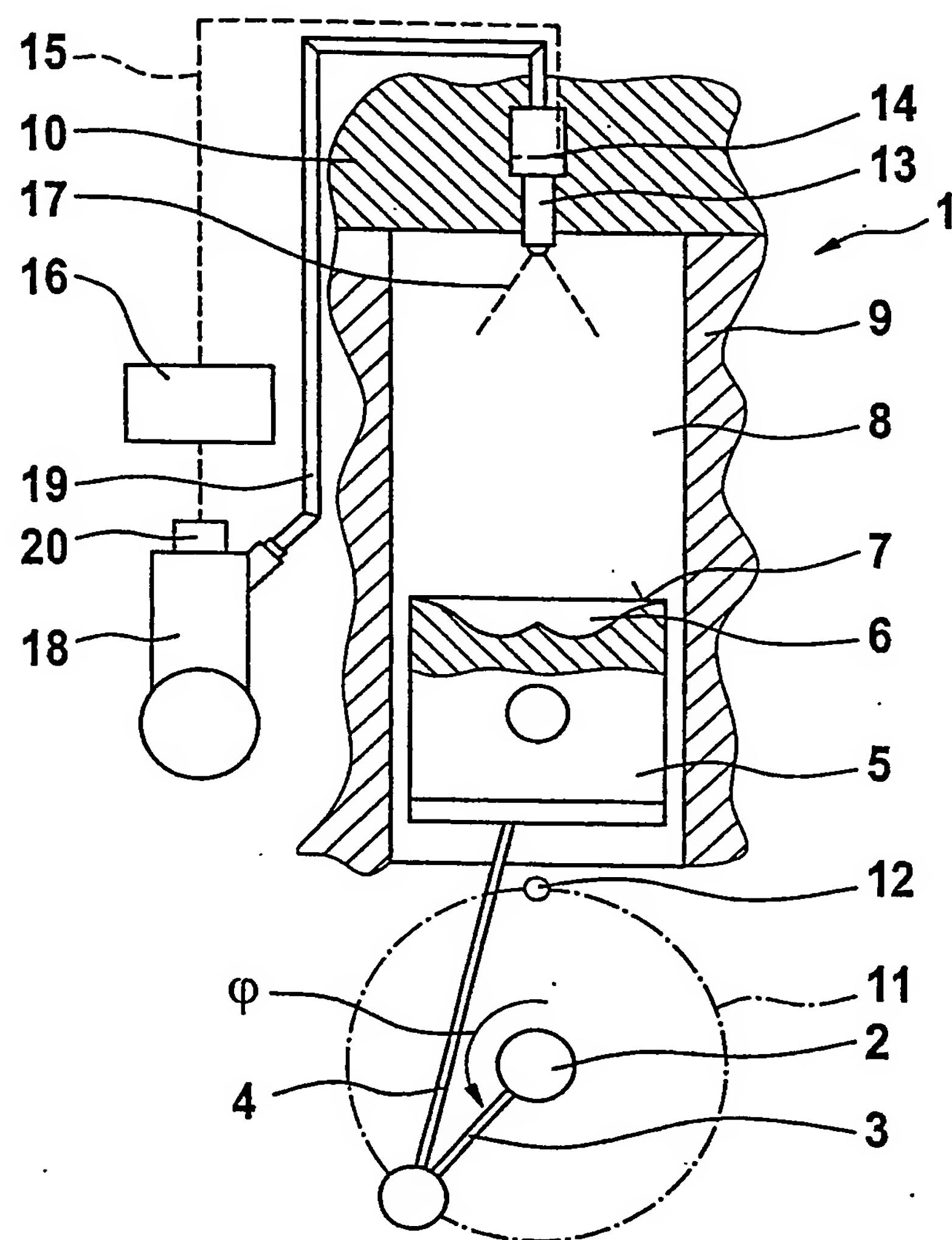


Fig. 1

2/4

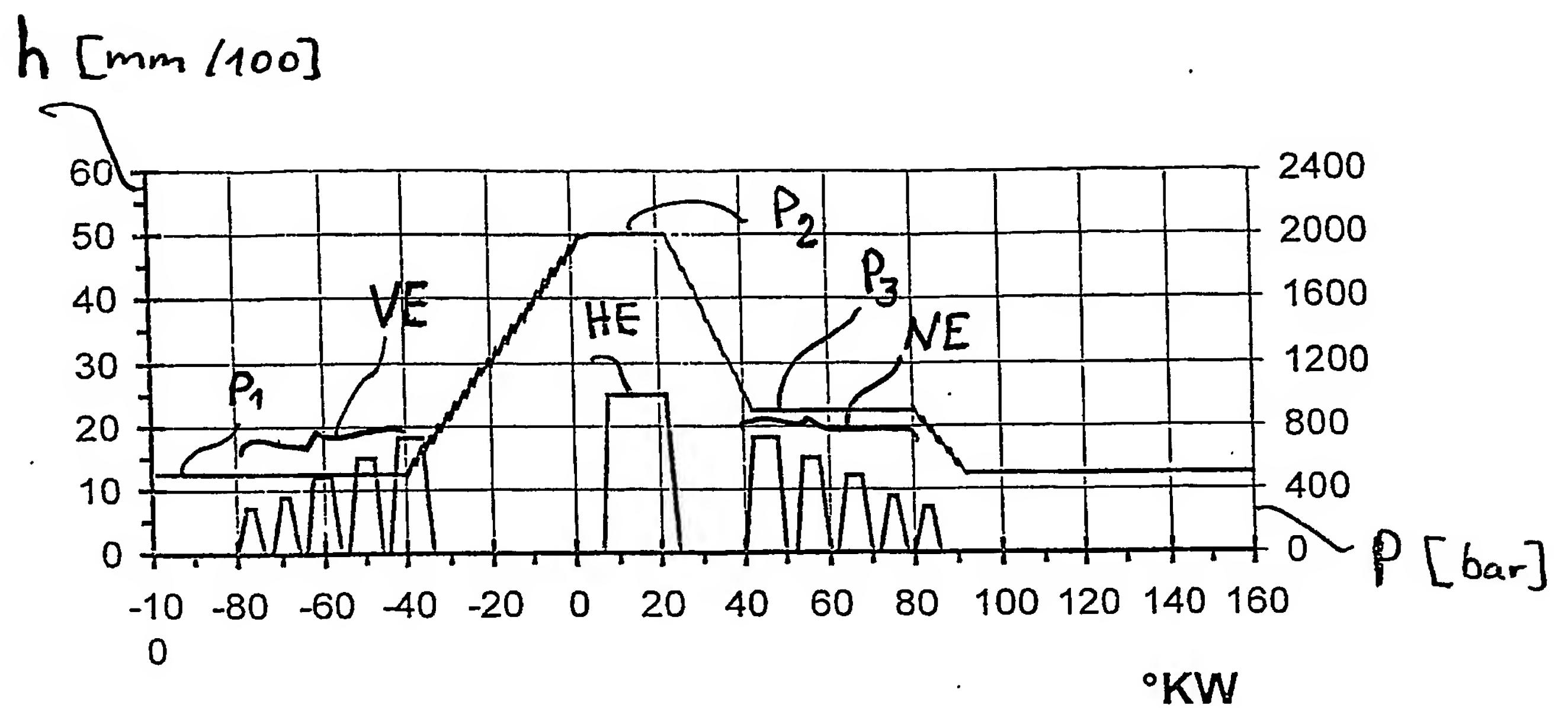


Fig. 2

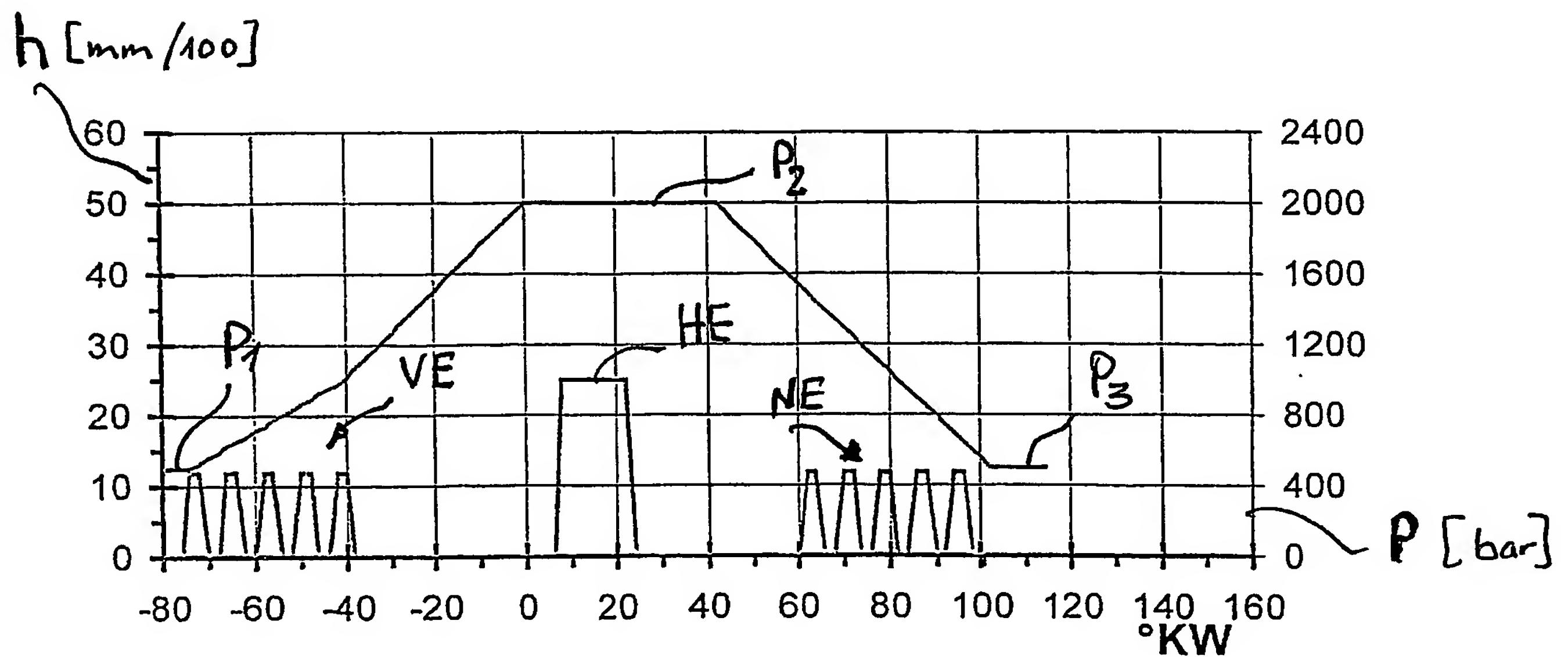


Fig. 3

3/4

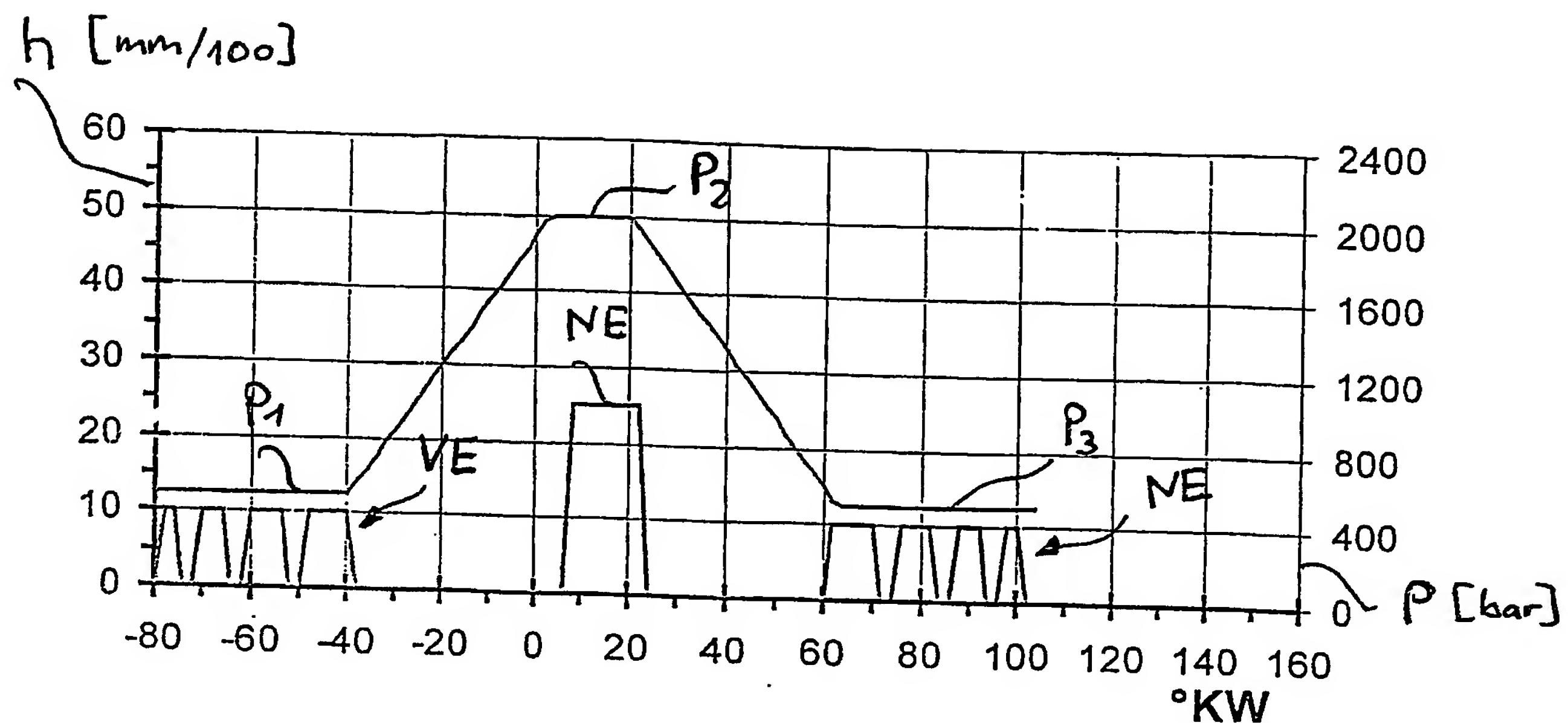


Fig. 4

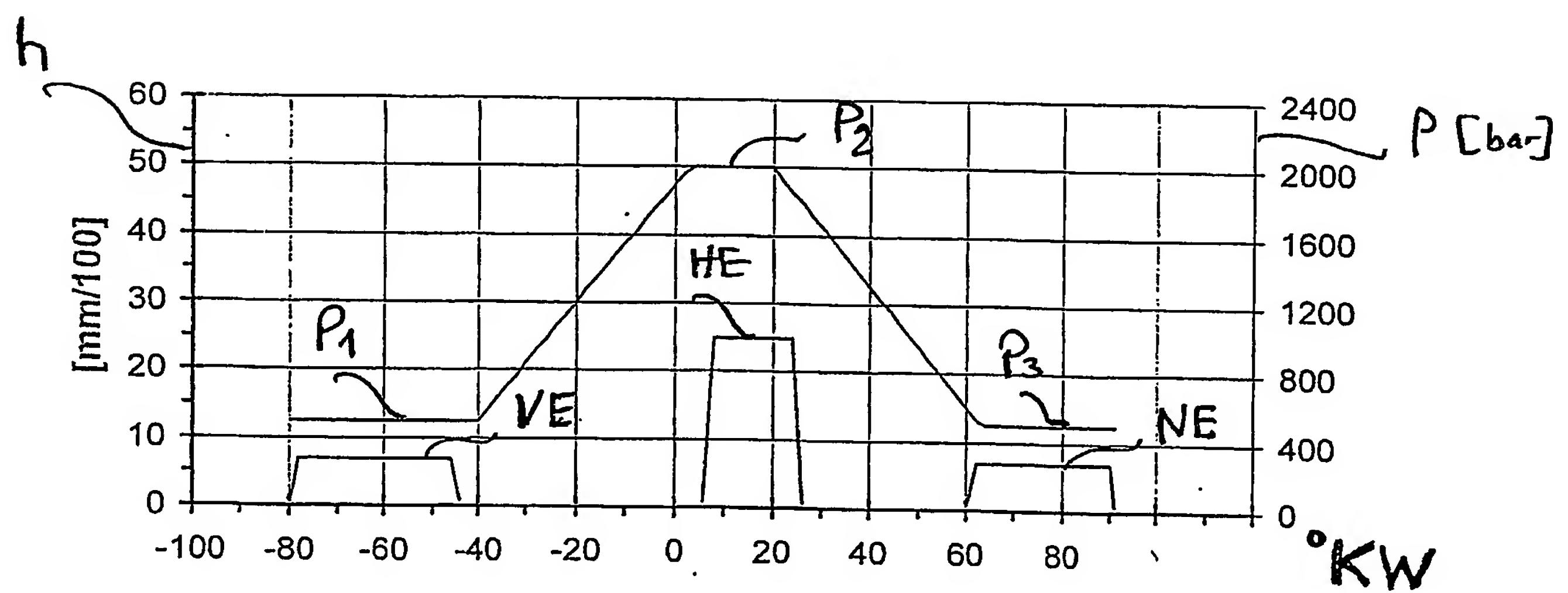


Fig. 5

4/4

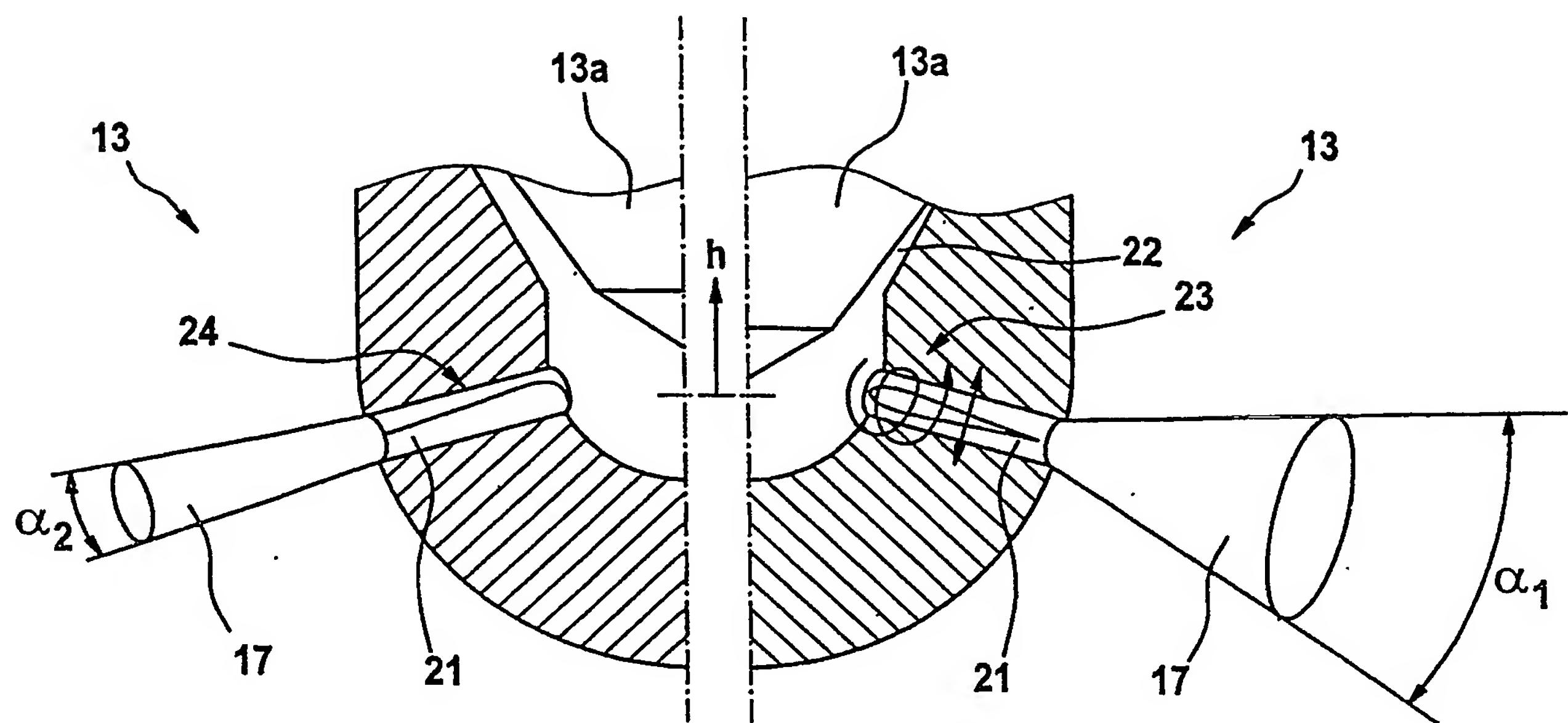


Fig. 6

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/006882

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 F02D41/40 F02M61/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 F02D F02M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 536 209 B2 (KOSHKARIAN KENT A ET AL) 25 March 2003 (2003-03-25) column 3, line 37 – line 40 column 7, line 10 – line 20 column 8, line 43 – line 54 column 13, line 19 – line 32 column 17, line 26 – line 37 figures 2,3,5 -----	1,3,4, 6-8
A	EP 1 035 315 A (MAZDA MOTOR) 13 September 2000 (2000-09-13) paragraphs '0052!, '0053!, '0055!, '0067!; figures 14,21 -----	1
A	DE 100 20 148 A (TOYOTA MOTOR CO LTD) 16 November 2000 (2000-11-16) column 8, line 21 – line 53 -----	1
		-/-

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the International filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

20 September 2004

Date of mailing of the International search report

01/10/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Pileri, P

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/006882

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 102 07 189 A (FEV MOTORENTECH GMBH) 12 September 2002 (2002-09-12) paragraphs '0001!, '0024!, '0029!; figure 1 -----	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/006882

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)			Publication date
US 6536209	B2	26-12-2002	US 2002194837 A1		26-12-2002
			DE 10221165 A1		02-01-2003
			GB 2382622 A		04-06-2003
EP 1035315	A	13-09-2000	JP 2000320386 A		21-11-2000
			EP 1035315 A2		13-09-2000
DE 10020148	A	16-11-2000	JP 2001012334 A		16-01-2001
			DE 10020148 A1		16-11-2000
			FR 2792686 A1		27-10-2000
DE 10207189	A	12-09-2002	DE 10207189 A1		12-09-2002

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/006882

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 F02D41/40 F02M61/18

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 F02D F02M

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 6 536 209 B2 (KOSHKARIAN KENT A ET AL) 25. März 2003 (2003-03-25) Spalte 3, Zeile 37 – Zeile 40 Spalte 7, Zeile 10 – Zeile 20 Spalte 8, Zeile 43 – Zeile 54 Spalte 13, Zeile 19 – Zeile 32 Spalte 17, Zeile 26 – Zeile 37 Abbildungen 2,3,5 -----	1,3,4, 6-8
A	EP 1 035 315 A (MAZDA MOTOR) 13. September 2000 (2000-09-13) Absätze '0052!, '0053!, '0055!, '0067!; Abbildungen 14,21 -----	1
A	DE 100 20 148 A (TOYOTA MOTOR CO LTD) 16. November 2000 (2000-11-16) Spalte 8, Zeile 21 – Zeile 53 -----	1
		-/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

20. September 2004

Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts

01/10/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Pileri, P

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/006882

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 102 07 189 A (FEV MOTORENTECH GMBH) 12. September 2002 (2002-09-12) Absätze '0001!, '0024!, '0029!; Abbildung 1 -----	1

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/006882

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 6536209	B2	26-12-2002	US DE GB	2002194837 A1 10221165 A1 2382622 A		26-12-2002 02-01-2003 04-06-2003
EP 1035315	A	13-09-2000	JP EP	2000320386 A 1035315 A2		21-11-2000 13-09-2000
DE 10020148	A	16-11-2000	JP DE FR	2001012334 A 10020148 A1 2792686 A1		16-01-2001 16-11-2000 27-10-2000
DE 10207189	A	12-09-2002	DE	10207189 A1		12-09-2002

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**